

**Prioritätsbescheinigung über die Einreichung  
einer Patentanmeldung**

11/01

**Aktenzeichen:** 199 30 071.2

**Anmeldetag:** 30. Juni 1999

**Anmelder/Inhaber:** Professor Dr.-Ing. Wolfgang K r u m m  
und Dipl.-Ing. Stefan H a m e l, Wenden/DE;  
Dr.-Ing. Günter F u n k, Siegen/DE.

**Bezeichnung:** Verfahren und Vorrichtung zur Pyrolyse und  
Vergasung von organischen Stoffen und  
Stoffgemischen

**IPC:** C 10 B, C 10 J, F 23 G

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 18. Juli 2000  
Deutsches Patent- und Markenamt  
Der Präsident  
Im Auftrag

**PRIORITY  
DOCUMENT**

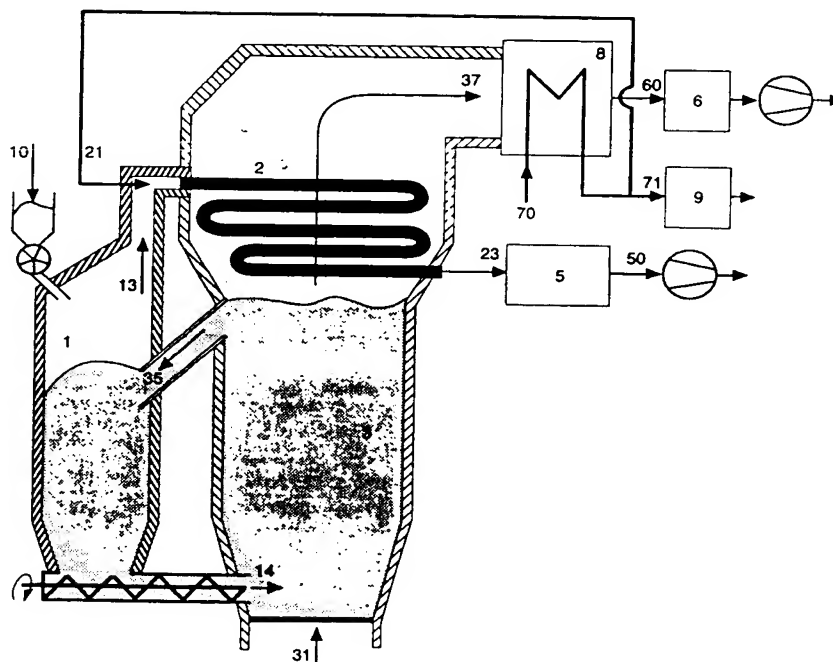
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH RULE 17 I (a) OR (b)

### Anlage 3: Zusammenfassung



Gegenstand der Erfindung ist ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Pyrolyse und Vergasung von organischen Stoffen und Stoffgemischen, bei dem die Pyrolyse in einem Wanderbettreaktor oder einem Drehrohrreaktor unter Zufuhr von heißem Wirbelbettmaterial durchgeführt wird, die Pyrolysegase in eine Reaktionszone geleitet werden in der die Pyrolysegase mit einem Reaktionsmittel reagieren, Fig. 3. Der feste kohlenstoffhaltige Rückstand und gegebenenfalls ein Anteil des Pyrolysegases werden zusammen mit dem Wirbelbettmaterial einem Wirbelschichtverbrennungsreaktor zugeführt, dort verbrannt, wodurch die Aufheizung des Wirbelbettmaterials erfolgt. Die Verbrennungsabgase und das Wirbelbettmaterial werden derart mit der Reaktionszone in Kontakt gebracht, dass deren Wärmeinhalt für die Reaktion der Pyrolysegase mit dem Reaktionsmittel verwendet werden kann. Aus dem Wirbelschichtverbrennungsreaktor abgezogenes Wirbelbettmaterial wird als Wärmeträgermedium dem Pyrolysereaktor zugeführt. Die Wärmeübertragung an den Einsatzstoff zur Durchführung der Pyrolyse erfolgt dabei durch Kontakt mit dem Wirbelbettmaterial und gegebenenfalls zusätzlich durch die heiße Wandung des Wirbelschichtverbrennungsreaktors.

Fig. 3





5

## Anlage 4: Beschreibung

(Seite 1-8)

### 5 Verfahren und Vorrichtung zur Pyrolyse und Vergasung von organischen Stoffen und Stoffgemischen

Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Pyrolyse und Vergasung von organischen Stoffen und Stoffgemischen gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 1.

- 10 Für die Behandlung und Nutzung organischer Stoffe und Stoffgemische durch zum Beispiel Vergasung und Pyrolyse sind eine Reihe von Verfahren bekannt. Die Verfahren unterscheiden sich nach dem verwendeten Oxidations- bzw. Reduktionsgas, sowie nach der Art des Kontaktes zwischen Feststoff und Gas. Nach der Feststoff- und Gasführung unterscheidet man u.a. zirkulierende Wirbelschichtvergaser, Flugstromvergaser, Drehrohrvergaser und Wanderbett-
- 15 vergaser mit Gegenstrom, Gleichstrom- oder Querstromgasführung. Die Mehrzahl der bekannten Vergasungsverfahren ist aufgrund des hohen apparativen Aufwandes nicht für kleinere, dezentrale Anlagen geeignet. Kleinere dezentrale Anlagen empfehlen sich insbesondere bei Verwendung des Einsatzstoffes Biomasse.

- Das Betriebsverhalten von Vergasungsverfahren nach dem Prinzip der zirkulierenden Wirbelschicht ist stark vom jeweiligen Korngrößenhaushalt der Wirbelschicht abhängig, bestehend
- 20 aus dem zu vergasendem Einsatzstoff und dem ebenfalls zirkulierenden Inertmaterial. Daraus ergeben sich entsprechende Anforderungen an die Stückgröße des Einsatzmaterials. Noch weitaus höhere Anforderungen an die Aufbereitung des Brennstoffs ergeben sich im Fall der Flugstromvergasung, die lediglich den Einsatz feingemahlener Brennstoffkörner erlaubt.

- 25 Weitere wesentliche Nachteile der bekannten Vergasungsverfahren bestehen darin, dass die ablaufenden Prozessschritte Trocknung, Entgasung, Vergasung und Verbrennung des Einsatzstoffes in unmittelbar nebeneinander liegenden Zonen, die ineinander übergehen, abläuft. Dadurch sind die einzelnen Zonen innerhalb eines Reaktors unbestimmt und Entgasung, Vergasung und Verbrennung können örtlich unvollständig ablaufen. In weiteren bekannten Verfahren
- 30 wird versucht diese Nachteile durch die Trennung der einzelnen am Brennstoff ablaufenden Prozessschritte Entgasung, Vergasung und Verbrennung aufzuheben.

- In der DE-OS 19720331A1 wird ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Vergasung oder Verbrennung von trockener oder feuchter, feinkörniger oder stückiger Biomasse, sowie von Abfall vorgeschlagen, dadurch gekennzeichnet, dass durch die heiße Wandung eines Verbrennungsofens und durch das Einströmen heißen Abgases aus dem Verbrennungsofen in einen
- 5 Entgasungsofen biologische Rohstoffe in diesem entgasen, wodurch Koks und Pyrolysegas entstehen, wobei der Koks nach Passieren des Zerkleinerers auf das Glutbett des Vergasungsreaktors gelangt, während das Pyrolysegas im Verbrennungsraum des Vergasungsreaktors unter Zuführung einer begrenzten Luftmenge verbrennt und das entstehende Abgas nachfolgend durch das Glutbett des Vergasungsreaktors strömt, in dem eine Oxidation des Kohlen-
- 10 stoffs zu CO bei gleichzeitiger Reduktion von Abgas ( $\text{CO}_2$ ) und Wasserdampf ( $\text{H}_2\text{O}$ ) zu einem brennbarem Schwachgas ( $\text{CO}$ ,  $\text{H}_2$ ) stattfindet. Dadurch, dass die Pyrolyse durch die Erwärmung aufgrund des Kontaktes mit heißen Verbrennungsabgasen durchgeführt wird und desweiteren eine Teilverbrennung des Pyrolysegases durchgeführt wird, ist mit dem in der DE-OS 19720331A1 vorgeschlagenen Verfahren lediglich ein Produktgas mit geringem Heizwert
- 15 herzustellen. Bei Verwendung von Brennstoffen mit hohem Gehalt an flüchtigen Bestandteilen und geringer Pyrolysekoksausbeute besteht die Gefahr einer unzureichenden Ausbildung des aus Pyrolysekoks bestehenden Glutbetts des Vergasungsreaktors, wodurch die Oxidation des Kohlenstoffs zu CO bei gleichzeitiger Reduktion von Abgas und Wasserdampf zu einem brennbarem Schwachgas auf Kosten des Produktgasheizwertes unzureichend abläuft.
- 20 Aus der US-PS 4568362 ist weiterhin ein Verfahren zur Vergasung von organischen Stoffen und Stoffgemischen bekannt, bei dem die organischen Stoffe in einen Pyrolysereaktor geleitet werden, in dem die organischen Stoffe mit einem Wärmeträgermedium in Kontakt kommen, wodurch eine schnelle Pyrolyse stattfindet, die die organischen Stoffe in Pyrolyseprodukte umsetzt, die aus Pyrolysegasen mit kondensierbaren Stoffen und einem festen kohlenstoffhal-
- 25 tigen Rückstand bestehen und die nötige Wärmeenergie für die Pyrolyse durch Verbrennen des festen kohlenstoffhaltigen Rückstandes in einem Verbrennungsreaktor erzeugt wird und die teerhaltigen Pyrolysegase in einer zweiten Reaktionszone des Pyrolysereaktors derart Crackreaktionen und Reaktionen mit Wasserdampf unterworfen werden, dass ein Produktgas mit hohem Heizwert erhalten wird. Bei diesen Verfahren erfolgt sowohl die Pyrolyse, als auch
- 30 die Verbrennung des festen kohlenstoffhaltigen Rückstands in einer Wirbelschicht. In dem oberen Teil der Pyrolysewirbelschicht ist eine Reaktionszone für die teerhaltigen Pyrolysegase vorgesehen. Das Betreiben der Wirbelschichten ist sehr aufwendig und eine Steuerung der Reaktionen der Pyrolysegase in der Reaktionszone ist kaum möglich.



7

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein einfach durchzuführendes Verfahren und eine Vorrichtung zur Durchführung dieses Verfahrens zur Erzeugung eines Gases mit hohem Heizwert zur Verfügung zu stellen. Diese Aufgabe wird durch die Merkmale des Patentanspruchs 1 gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungsformen und Weiterbildungen der Erfindung ergeben sich bei der Nutzung der in den untergeordneten Ansprüchen genannten Merkmale.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß dadurch gelöst, dass die Pyrolyse in einem Wanderbettreaktor oder einem Drehrohrreaktor durchgeführt wird, den Pyrolysegasen gegebenenfalls ein Reaktionsmittel, z.B. Wasserdampf und/oder Sauerstoff, zugegeben wird, und sie in eine Reaktionszone geleitet werden, in der die Pyrolysegase mit dem Reaktionsmittel reagieren.

Der feste kohlenstoffhaltige Rückstand und gegebenenfalls ein Anteil des Pyrolysegases werden allein oder zusammen mit dem Wirbelbettmaterial einem Wirbelschichtverbrennungsreaktor zugeführt und dort verbrannt. Hierdurch wird das Wirbelbettmaterial aufgeheizt. Die Verbrennungsabgase und das Wirbelbettmaterial werden derart mit der Reaktionszone in Kontakt gebracht, dass deren Wärmeinhalt für die Reaktion der Pyrolysegase mit dem Reaktionsmittel verwendet werden kann. Aus dem Wirbelschichtverbrennungsreaktor abgezogenes Wirbelbettmaterial bestehend aus Asche, unverbranntem Koks und gegebenenfalls zusätzlich zugeführten feuerfestem Wirbelbettmaterial, wird als Wärmeträgermedium dem Pyrolysereaktor zurückgeführt. Die Wärmeübertragung an den Einsatzstoff zur Durchführung der Pyrolyse erfolgt dabei durch Kontakt mit dem Wirbelbettmaterial und gegebenenfalls zusätzlich durch die heiße Wandung des Wirbelschichtverbrennungsreaktors.

Das dem Pyrolysereaktor aus der Verbrennungswirbelschicht zugeführte heiße Wirbelbettmaterial bewirkt durch Kontakt eine schnelle Trocknung und Pyrolyse des Einsatzstoffes. Als Reaktor bietet sich ein Schachtofen an, bei dem das Gemisch aus dem Einsatzstoff und dem Wirbelbettmaterial von oben nach unten durch den Schachtofen wandert. Um den Feststofftransport durch den Schachtofen zu gewährleisten, können entsprechend des Standes der Technik Einbauten, Förderwendeln oder Rührwerke vorgesehen werden. Der Pyrolysereaktor kann beispielsweise auch als Drehrohrreaktor ausgeführt werden, wodurch eine gute Durchmischung von Einsatzstoff und heißem Wirbelbettmaterial erreicht und gleichzeitig der Feststofftransport gewährleistet wird. Der während der Trocknung dem Einsatzstoff entwichene Wasserdampf und die Pyrolysegase verlassen den Pyrolysereaktor und gelangen in eine weitere Reaktionszone. Die Mischung aus dem verbleibenden festen kohlenstoffhaltigen Pyrolyserückstand und dem Wirbelbettmaterial wird zusammen in die Verbrennungswirbelschicht gefördert, wobei auf konventionelle Bauteile wie zum Beispiel Förderschnecken oder Zellrad-

schleusen mit Schrägrohreintrag zurückgegriffen werden kann. In der erfindungsgemäßen Vorrichtung wird eine Schnecke bevorzugt.

Dadurch, dass die Pyrolyse vorzugsweise in einem Schachtofen durchgeführt wird, kann auf die für eine Pyrolysewirbelschicht notwendige Zufuhr eines Fluidisierungsmediums verzichtet werden. Dadurch besteht die Möglichkeit die Pyrolyse völlig unter Verzicht auf Gaszufuhr durchzuführen oder, im Gegensatz zu einer Pyrolysewirbelschicht, der zur Fluidisierung eine Mindestmenge Gas zugeführt werden muß, beliebig geringe Mengen beispielsweise des Produktgases oder eines Reaktionsmittels wie Wasserdampf, Sauerstoff oder Luft zuzugeben. Dadurch besteht die Möglichkeit als verfahrenstechnische Anpassung an den jeweiligen Einsatzstoff Gas oder ein Reaktionsmittel dem Pyrolysereaktor zuzugeben. Im erfindungsgemäßen Verfahren wird die Pyrolyse im Pyrolysereaktor vorzugsweise unter Luft- und Gasausfluß durchgeführt. Ein weiterer Vorteil der Durchführung der Pyrolyse in einem separaten Verfahrensschritt besteht darin, dass der während der Pyrolyse auftretende Zerkleinerungseffekt aufgrund der Schwelung und Entgasung den Einsatz von größerem stückigem, als üblicherweise in Wirbelschichtreaktoren eingesetztem, Gut ermöglicht. Alternativ besteht die Möglichkeit der Eintragsvorrichtung für den festen kohlenstoffhaltigen Pyrolyserückstand und das Wirbelbettmaterial in die Verbrennungswirbelschicht mit einer Zerkleinerungsvorrichtung, wie beispielsweise einen Walzenbrecher, vorzuschalten, womit die Anforderungen an die Einsatzstoffpartikelgrößen weiter reduziert werden können. Die zur Zerkleinerung von Pyrolysekoks aufzubringende Energie ist dabei wesentlich geringer als die zur Zerkleinerung von z.B. Biomasse wie Holz.

Der kohlenstoffhaltige feste Pyrolyserückstand wird in der Wirbelschicht mit Luft verbrannt, wird dadurch als Asche selbst zum Wirbelbettmaterial und heizt durch die Energiefreisetzung schon vorhandenes Wirbelbettmaterial weiter bzw. wieder auf. Die Verbrennungswirbelschicht kann nach dem Kenntnisstand der Wirbelschichttechnik ausgelegt und betrieben werden. Im Hinblick auf die Emissionen der Verbrennungswirbelschicht kann eine gestufte Luftzugabe vorteilhaft sein. Der Verbrennungsreaktor wird als stationäre Wirbelschicht ausgebildet, dass heißt die Gasmenge des Wirbelmediums muß einerseits ausreichend sein, um die minimale Fluidisierungsgeschwindigkeit des Feststoffs zu überschreiten und darf andererseits die Geschwindigkeit für den Austrag nicht überschreiten. Ab einer Wirbelbetthöhe von ca. 2,5 m bis 3 m sind Einbauten zur Verhinderung der Ausbildung einer stoßenden Wirbelschicht und der damit einhergehenden Druckpulsationen erforderlich. Das durch den Verbrennungsvorgang aufgeheizte Wirbelbettmaterial wird schließlich wieder dem Pyrolysereaktor zuge-

führt. Das Wirbelbettmaterial besteht aus der Asche, die aus der Verbrennung des festen kohlenstoffhaltigen Pyrolyserückstandes verbleibt. Findet eine unvollständige Verbrennung des Pyrolysekokes innerhalb der Verbrennungswirbelschicht statt besteht das Wirbelbettmaterial, welches als Wärmeträgermedium im Kreislauf geführt wird, aus der Asche des Einsatzstoffes und unverbranntem kohlenstoffhaltigem Pyrolyserückstand. Da die festen Pyrolyserückstände der organischen Stoffe und Stoffgemische sich in der Verbrennungswirbelschicht in der Regel schnell umsetzen und teilweise nur geringe Anteile an nicht vergas- oder verbrennbarem Material besitzen können, ist es gegebenenfalls notwendig, zusätzliches Material zur Ausbildung einer Wirbelschicht zuzugeben. Zusätzliches Material braucht nicht zugegeben werden, wenn die Einsatzstoffe große Mengen an nicht vergas- oder verbrennbarem Material mitbringen, die sich zum Aufbau einer Wirbelschicht eignen. Als zuzugebendes Material, das zur Ausbildung einer Wirbelschicht dient, eignen sich alle feuerfesten Materialien, wie beispielsweise Sand mit einem Korndurchmesser kleiner 1,5 mm. Die Entnahme des heißen Wirbelbettmaterials und der Transport in den Pyrolysereaktor wird vorzugsweise mittels eines oder mehrerer Überläufe bewerkstelligt, die an der Reaktorwand vorgesehen sind oder durch die Reaktorwand in die Wirbelschicht hineinragen. Die Methode hat den Vorteil, dass neben der Übermittlung des heißen Wirbelbettmaterials in den Pyrolysereaktor auf einfache Weise die Wirbelbetthöhe der Verbrennungswirbelschicht eingestellt werden kann. Der Abzug des Wirbelbettmaterials kann auch mittels anderer bekannter Förderaggregate, wie beispielsweise einer Förderschnecke, vorgenommen werden, allerdings ist der verfahrenstechnische Aufwand in diesem Fall höher.

Die Erfindung basiert auf dem Grundgedanken das Verfahren in einfach durchzuführende Verfahrensstufen zu gliedern. Die einzelnen Verfahrensstufen und deren Zusammenspiel können unter Berücksichtigung der speziellen Eigenschaften des Einsatzstoffes und hinsichtlich der beabsichtigten zu erzielenden Produktgasqualität entsprechend optimal ausgelegt werden. Durch die im folgenden beschriebenen Zeichnungen, in der beispielhaft bevorzugte Ausführungsformen der Erfindung dargestellt sind, zeigen sich weitere Vorteile der Erfindung.

In Figur 1 sind die Massen- und Energieströme der Pyrolysestufe, Reaktionszone und der Verbrennungswirbelschicht des erfindungsgemäßen Verfahrens dargestellt. In die Pyrolysestufe 1 wird Einsatzstoff 10 und Wirbelbettmaterial 35 als Wärmeträger zugeführt. Der mit dem Wirbelbettmaterial transportierte Wärmestrom ergibt sich aus der Temperatur der Verbrennungswirbelschicht, aus der Beschaffenheit und dem Massenstrom des Wirbelbettmaterials und des Einsatzstoffstroms sowie aus der angestrebten Pyrolysetemperatur. Desweiteren

wird ein Reaktionsmittel 11 zugeführt sowie ein Wärmestrom 34 aus der Verbrennungswirbelschicht übertragen. Die Pyrolysestufe verläßt Pyrolysegas 13, das in die Reaktionszone 2 geführt wird, Pyrolysegas 15, das in den Verbrennungsreaktor geführt wird, ein Gemisch aus Wirbelbettmaterial und festem kohlenstoffhaltigem Pyrolyserückstand 14 sowie Wärmeverluststrom 12.

Das Gemisch aus Wirbelbettmaterial und festem kohlenstoffhaltigem Pyrolyserückstand 14 wird in die Verbrennungswirbelschicht 3 zusammen mit Pyrolysegas 15 und Luft 31 geführt. Das durch die Verbrennung aufgeheizte Wirbelbettmaterial 35 wird zurück in den Pyrolyse-  
aktor 1 geführt. Das ebenfalls heiße Abgas 37 verläßt die Verbrennungswirbelschicht 3. Ein Teil der im Abgas enthaltenen Wärme 36 wird an die Reaktionszone 2 übertragen. Den Verbrennungsreaktor 3 verläßt weiterhin ein Wärmeverluststrom 33 sowie Wirbelbettmaterial 32, das entnommen werden muß, um im stationären Betrieb den Gesamtfeststoffhaushalt zu regulieren.

Das der Reaktionszone 2 zugeführte Pyrolysegas 13 wird zusammen mit dem Reaktionsmittel 21 mit Hilfe der zugeführten Wärme 36 in Gegenwart eines Katalysators zum Produktgas 23 umgesetzt. Das Produktgas 23 und ein Wärmeverluststrom 22 verlassen schließlich die Reaktionszone 2.

### Ausführungsbeispiel

Im folgenden Beispiel wird die bevorzugte Ausführung des erfindungsgemäßen Verfahrens und der Vorrichtung beschrieben. Das bevorzugte Verfahren gemäß Fig. 2 und die bevorzugte Vorrichtung gemäß Fig. 3 dient zur Pyrolyse und Vergasung von 900 kg Holz je Stunde. Das beispielhaft eingesetzte Holz besteht im wesentlichen aus 52,3 Gew.-% Kohlenstoff, 5,9 Gew.-% Wasserstoff und 41,8 Gew.-% Sauerstoff jeweils bezogen auf die wasser- und aschefreie Brennstoffsubstanz und besitzt weiterhin einen Ascheanteil von 0,51 Gew.-% bezogen auf den rohen Einsatzstoff. Der Heizwert des Holzes beträgt  $H_u = 17,2$  MJ/kg bezogen auf den wasserfreien Zustand, die thermische Vergaserleistung beträgt somit 3,92 MW.

In der in Figur 2 beschriebenen bevorzugten Ausführung des Verfahrens zur Holzvergasung wird Holz 10 in einer Aufbereitungsstufe 4 je nach Beschaffenheit des Einsatzstoffes einer Zerkleinerung und/oder Trocknung unterzogen, bevor es in die Pyrolysestufe 1 gegeben wird.

Das Holz besitzt nach der Aufbereitungsstufe 4 einen Wassergehalt von 8,9 Gew.-%.

Die Pyrolyse wird bei einer Temperatur von 580°C durchgeführt. Das in den Pyrolyse-  
aktor 1 eingebrachte Wirbelbettmaterial 35 hat eine Temperatur von 900°C, so dass um den Ein-



satzstoff auf die Pyrolysetemperatur von 580°C aufzuheizen die 4,1-fache Menge Wirbelbettmaterial, also 3,7 t/h, zugeführt und sich im Umlauf befinden muß. Bei der Pyrolyse des Holzes verbleiben schließlich 20,3 Gew.-% (bez. auf Brennstoff roh) als fester Pyrolyserückstand, der einen Heizwert von  $H_u = 30 \text{ MJ/kg}$  besitzt. Die restlichen Produkte aus der Trocknung und Pyrolyse verlassen den Pyrolysereaktor 1 als Gas 13 und gelangen in die Reaktionszone 2. Das Gemisch aus festem Pyrolyserückstand und Wirbelbettmaterial 14 wird der Verbrennungswirbelschicht 3 zugeführt und dort mit Luft 31 verbrannt. Der mit dem festen Pyrolyserückstand des Holzes der Verbrennungswirbelschicht zugeführte Enthalpiestrom beträgt 1,52 MW. Im vorliegenden Beispiel verbleibt in der Verbrennungswirbelschicht 3 nach Abzug des Wärmeverlustes 33, des abgezogenen Wirbelbettmaterials 32, des Wirbelbettmaterials 35, der übertragenen Energiemenge 36 ein an den Rauchgasstrom gekoppelter Leistungüberschuß. Daher wird mit einem einer Aufbereitung 7 unterzogener Wasserstrom 70 unter Berücksichtigung des Feuerungswirkungsgrades im Wärmeübertrager 8 ein Heißdampfstrom erzeugt. Wird der Dampfstrom 21, welcher der Reaktionszone 2 zugeführt wird, dem in 8 erzeugten Heißdampfstrom entnommen, verbleibt ein Heißdampfstrom 71 mit einer Leistung von 0,45 MW, der über eine Turbine 9 entspannt wird.

Die Pyrolysegase 13 werden unter Zuführung des Reaktionsmittels Wasserdampf 21 in die Reaktionszone 2, bestehend aus einem Wärmeübertrager der mit einem Katalysator zur Verbesserung der Teercracking bestückt ist, geleitet. Die für die Reaktion des Pyrolysegases 13 mit dem Wasserdampf 21 benötigte Energie wird über den heißen Rauchgasstrom 36 aus der Verbrennungswirbelschicht 3 an den Wärmeübertrager 2 abgegeben, wobei die Reaktion je nach Betriebsführung der Verbrennungswirbelschicht 3 bei 850°C bis 900°C stattfindet. Für eine weitere Temperaturerhöhung durch eine partielle Verbrennung des Pyrolysegases kann dem Reaktionsmittel 21 Wasserdampf auch Luft oder Sauerstoff zugemischt werden. Das erhaltene Produktgas 23 besitzt einen Heizwert von  $9,87 \text{ MJ/m}^3(V_N)$  und setzt sich aus folgenden Gaskomponenten zusammen 48,7 Vol.-%  $H_2$ , 36,1 Vol.-%  $CO$ , 0,1 Vol.-%  $CH_4$ , 6,1 Vol.-%  $CO_2$ , 9 Vol.-%  $H_2O$ . Das Produktgas 23 wird anschließend in einer Aufbereitungsstufe 5 entstaubt und gequenchet. Der Kaltgaswirkungsgrad, also die chemische Energie des Einsatzstoffes bezogen auf den chemischen Energieinhalt des Produktgases, beträgt 80,8 %.

Figur 3 zeigt beispielhaft skizziert eine bevorzugte Ausführungsform der erfindungsgemäßen Vorrichtung zur Pyrolyse und Vergasung. Das Holz 10 wird über eine gasdichte Eintragsvorrichtung, im hier beispielhaft dargestellten Fall eine Zelleradschleuse, in den Pyrolysereaktor 1 gegeben. Die Trocknung und Pyrolyse des Einsatzstoffes findet durch den Kontakt mit dem

30.08.99

12

durch einen Überlauf aus der Verbrennungswirbelschicht 3 zugeführten heißen Wirbelbettmaterial 35 statt. Das entstandene Pyrolysegas 13 wird unter Zugabe von Wasserdampf 21 in die Reaktionszone 2 geleitet, die hier beispielhaft als Röhrenwärmeübertrager ausgebildet ist. Nach Umsetzung des Pyrolysegases mit dem Wasserdampf 21 wird das Produktgas 23 in der

5 Aufbereitungsstufe 5 gekühlt und gereinigt. Um den unerwünschten Austausch von Gasen zwischen Pyrolysereaktor 1 und Verbrennungswirbelschicht 3 zu vermeiden, sind das Gebläse der Produktgasleitung und der Rauchgasleitung aufeinander abzustimmen. Dadurch, dass der Überlauf von Verbrennungswirbelschicht zum Pyrolysereaktor so gestaltet ist, dass dieser ständig mit Wirbelbettmaterial gefüllt ist, wird in Kombination mit den genannten Gebläsen

10 der Austausch von Gas zwischen beiden Reaktoren auf einfache Weise verhindert. Zum Transport des Gemischs aus festem Pyrolyserückstand und zirkulierendem Wirbelbettmaterial in die Verbrennungswirbelschicht ist vorzugsweise eine Schnecke vorgesehen. Die Schnecke ist so auszulegen, dass der Druckverlust durch die mit Material gefüllten Schneckengänge größer ist als über der Wirbelschicht 3, so dass die der Verbrennungswirbelschicht 3 zuge-

15 führte Luft 31 nicht im Bypass durch den Pyrolysereaktor strömt. Mit der Wärme des Rauchgasstroms 37 wird über einen Wärmeübertrager 8 ein Dampfstrom 70 erzeugt, der beispielsweise über eine Turbine 9 entspannt wird.

30.06.99

13

# Anlage 5: Bezugszeichenliste

	1	Pyrolysereaktor
5	10	Einsatzstoff
	11	Reaktionsmittel
	12	Wärmeverlust
	13	Pyrolysegas
	14	Gemisch aus festem Pyrolyserückstand und Wirbelbettmaterial
10	15	Pyrolysegas
	2	Reaktionszone
	21	Reaktionsmittel
	22	Wärmeverlust
	23	Produktgas
15	3	Feuerung
	31	Luft
	32	Wirbelbettmaterial
	33	Wärmeverlust
	34	Wärmestrom
20	35	Wirbelbettmaterial
	36	Wärmestrom
	37	Verbrennungsabgas
	4	Vorbehandlungsstufe
	5	Gasreinigung
25	50	gereinigtes Produktgas
	6	Rauchgasreinigung
	60	Abgas
	7	Wasseraufbereitung
	70	Wasser
30	71	Dampf
	8	Wärmeübertrager
	9	Turbine

30.08.99

14

**Anlage 6: Patentansprüche**  
(Seite 1-3)

1. Verfahren zur Pyrolyse und Vergasung von organischen Stoffen und Stoffgemischen, bei dem
  - 1.1 die organischen Stoffe in einem Trocknungs- und Pyrolysereaktor eingebracht werden, in dem die organischen Stoffe mit dem Wirbelbettmaterial der Verbrennungswirbelschicht in Kontakt gebracht werden oder in dem die organischen Stoffe mit dem Wirbelbettmaterial und der Reaktorwandung der Verbrennungswirbelschicht in Kontakt gebracht werden, wodurch eine Trocknung und Pyrolyse stattfindet, bei der die organischen Stoffe in Wasserdampf aus der Trocknung und Pyrolyseprodukte umgesetzt werden, wobei die Pyrolyseprodukte aus Gasen mit kondensierbaren Substanzen und festem kohlenstoffhaltigem Rückstand bestehen
  - 1.2 der feste kohlenstoffhaltige Rückstand oder der feste kohlenstoffhaltige Rückstand und Anteile des Wasserdampfs und der Pyrolysegase mit kondensierbaren Substanzen und das Wirbelbettmaterial zurück in die Verbrennungswirbelschicht geführt werden, in der der kohlenstoffhaltige Rückstand der organischen Stoffe verbrannt, das Wirbelbettmaterial aufgeheizt und wieder in den Pyrolysereaktor geführt wird
  - 1.3 der Wasserdampf aus der Trocknung und die Pyrolysegase mit kondensierbaren Substanzen in einer weiteren Reaktionszone derart nachbehandelt werden, dass ein Produktgas mit hohem Heizwert zur Verfügung steht, dadurch gekennzeichnet, dass
    - 1.4 die Trocknung und Pyrolyse in mindestens einem oder mehreren Pyrolysereaktoren durchgeführt werden,
    - 1.5 die Trocknung und Pyrolyse in zwei oder mehreren Pyrolysereaktoren durchgeführt werden, die aus zwei oder mehreren Wanderbettreaktoren oder aus zwei oder mehreren Drehrohrreaktoren oder aus Drehrohrreaktoren und Wanderbettreaktoren bestehen,
    - 1.6 die Verbrennungswirbelschicht in der die Pyrolyserückstände verbrannt werden als stationäre Wirbelschicht betrieben wird,



15

- 1.7 den Pyrolysegasen kein Reaktionsmittel oder gegebenenfalls ein Reaktionsmittel wie Wasserdampf, Sauerstoff oder Luft oder eine Mischung daraus zugeführt wird,
- 1.8 die Pyrolysegase in einen indirekten Wärmetauscher geleitet werden, in dem sie gegebenenfalls mit dem Reaktionsmittel reagieren,
- 1.9 die Feuerungsabgase oder die Feuerungsabgase und das Wirbelbettmaterial der Verbrennungswirbelschicht so mit dem indirekten Wärmetauscher in Kontakt gebracht werden, dass deren Wärmeinhalt für die Reaktion der Pyrolysegase mit dem Reaktionsmittel genutzt wird,
- 1.10 das Wirbelbettmaterial nur aus der Asche der organischen Stoffe,  
oder aus der Asche und unverbrannten kohlenstoffhaltigen Rückständen der organischen Stoffe  
oder aus der Asche der organischen Stoffe und zusätzlichem Wirbelmaterial  
oder aus der Asche und unverbrannten kohlenstoffhaltigen Rückständen der organischen Stoffe und zusätzlichem Wirbelmaterial besteht,
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Pyrolyse bei einer Temperatur von 450°C bis 750°C durchgeführt wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1 und 2, dadurch gekennzeichnet, dass Produktgas in den Pyrolysereaktor zurückgeführt wird.
4. Verfahren nach Anspruch 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass Reaktionsmittel wie Wasserdampf, Sauerstoff oder Luft oder eine Mischung daraus in den Pyrolysereaktor gegeben werden.
5. Verfahren nach Anspruch 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass die Oberfläche der Reaktorwandung der Verbrennungswirbelschicht auf der Seite des Pyrolysereaktors und der Verbrennungswirbelschicht eine beliebige geschlossene geometrische Form besitzt.
6. Verfahren nach Anspruch 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Reaktion der Pyrolysegase mit dem Reaktionsmittel bei Temperaturen von 800°C bis 1050°C durchgeführt werden.
7. Verfahren nach Anspruch 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass die Reaktionen der Pyrolysegase mit dem Reaktionsmittel in Gegenwart eines Katalysators durchgeführt werden.

30.08.99

16

8. Verfahren nach Anspruch 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass die Reaktionen der Pyrolysegase mit dem Reaktionsmittel in einem Festbett aus Katalysatormaterial durchgeführt werden,
9. Verfahren nach Anspruch 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass die Reaktionen der Pyrolysegase mit dem Reaktionsmittel in einer Wirbelschicht aus Katalysatormaterial durchgeführt werden,
10. Verfahren nach Anspruch 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass die Reaktionen der Pyrolysegase mit dem Reaktionsmittel in Gegenwart eines dem Pyrolysegas im Flugstrom zugegebenen Katalysators durchgeführt werden.
11. Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach den Ansprüchen 1 bis 10 mit einem Pyrolysereaktor, einer Wirbelschichtfeuerung für den Pyrolyserückstand, einer Reaktionszone für die Pyrolysegase, einem Wirbelbettmaterialkreislauf zwischen Verbrennungswirbelschicht und Pyrolysereaktor, dadurch gekennzeichnet, dass ein Schachtreaktor oder eine Drehrohrreaktor mit einer Schleuse für den Einsatzstoff und einem Zulauf für das Wirbelbettmaterial aus der Verbrennungswirbelschicht neben der Verbrennungswirbelschicht angeordnet ist und der Schachtreaktor an seinem unteren Ende eine Transportvorrichtung in die Verbrennungswirbelschicht aufweist und die Verbrennungswirbelschicht einen Überlauf zur Übermittlung des Wirbelbettmaterials in den Schachtreaktor und die Abgase der Verbrennungswirbelschicht einem Wärmeübertrager zugeführt werden, der für die Pyrolysegase mit dem Schachtreaktor verbunden ist.
12. Vorrichtung nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, dass der Verbrennungswirbelschicht an mindestens einer Stelle oder an mehreren Stellen Wirbelbettmaterial entnommen wird und in den Pyrolysereaktor geführt wird.
13. Vorrichtung nach Anspruch 11 und 12, dadurch gekennzeichnet, dass der Verbrennungswirbelschicht an mindestens einer Stelle oder an mehreren Stellen Wirbelbettmaterial mittels eines oder mehrerer Überläufe entnommen wird und in den Pyrolysereaktor geführt wird.
14. Vorrichtung nach Anspruch 10 bis 13, dadurch gekennzeichnet, dass zur Ausbildung einer Wirbelschicht feuerfeste Stoffe zugegeben werden.
15. Vorrichtung nach Anspruch 10 bis 14, dadurch gekennzeichnet, dass zur Ausbildung einer Wirbelschicht die unverbrennbaren und unvergasbaren Bestandteile des Einsatzstoffes verwendet werden.

30.08.99

17

**Anlage 7: Blattzeichnungen**  
(Seite 1 – 3)

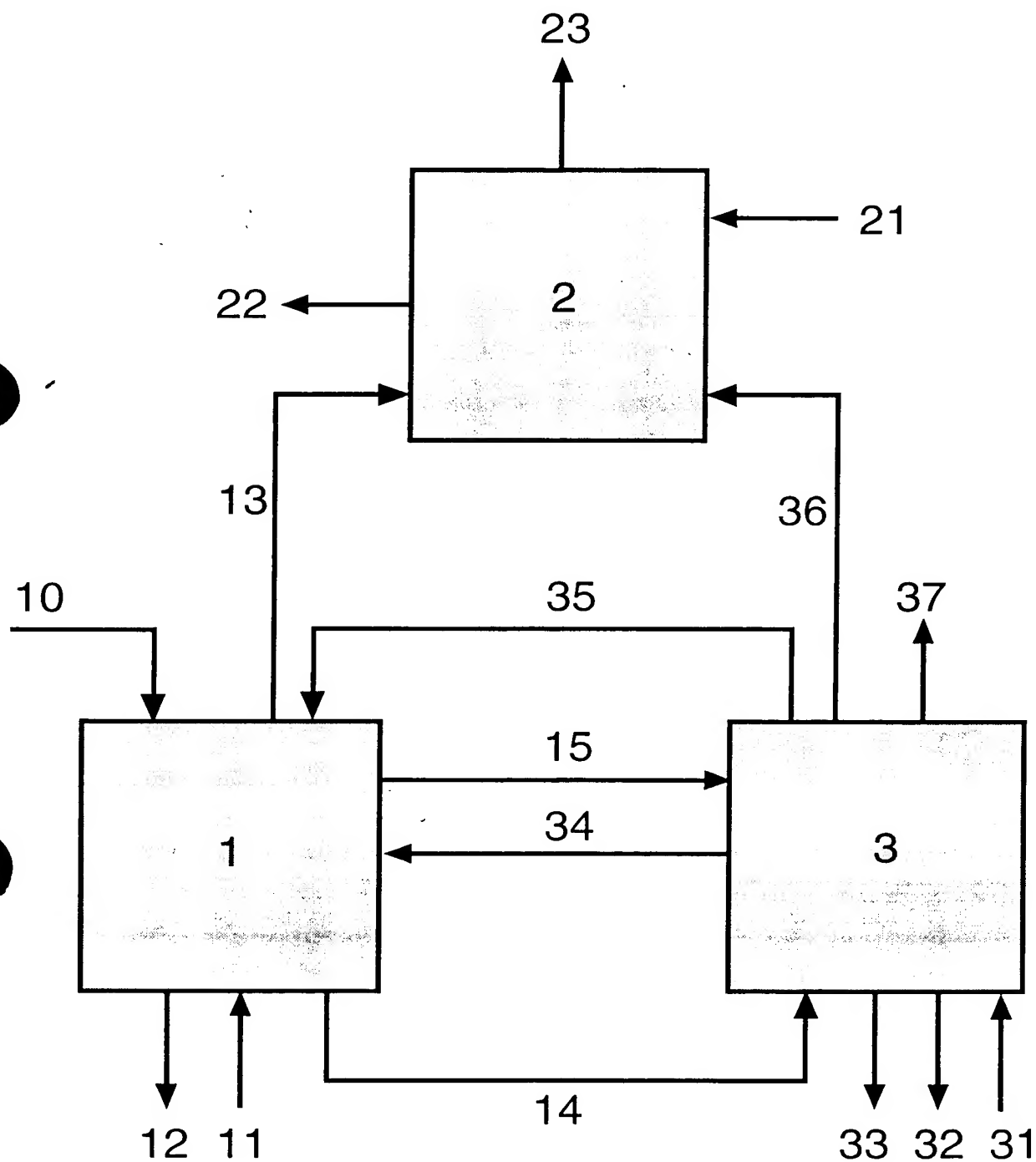


Fig. 1

30.05.99

17

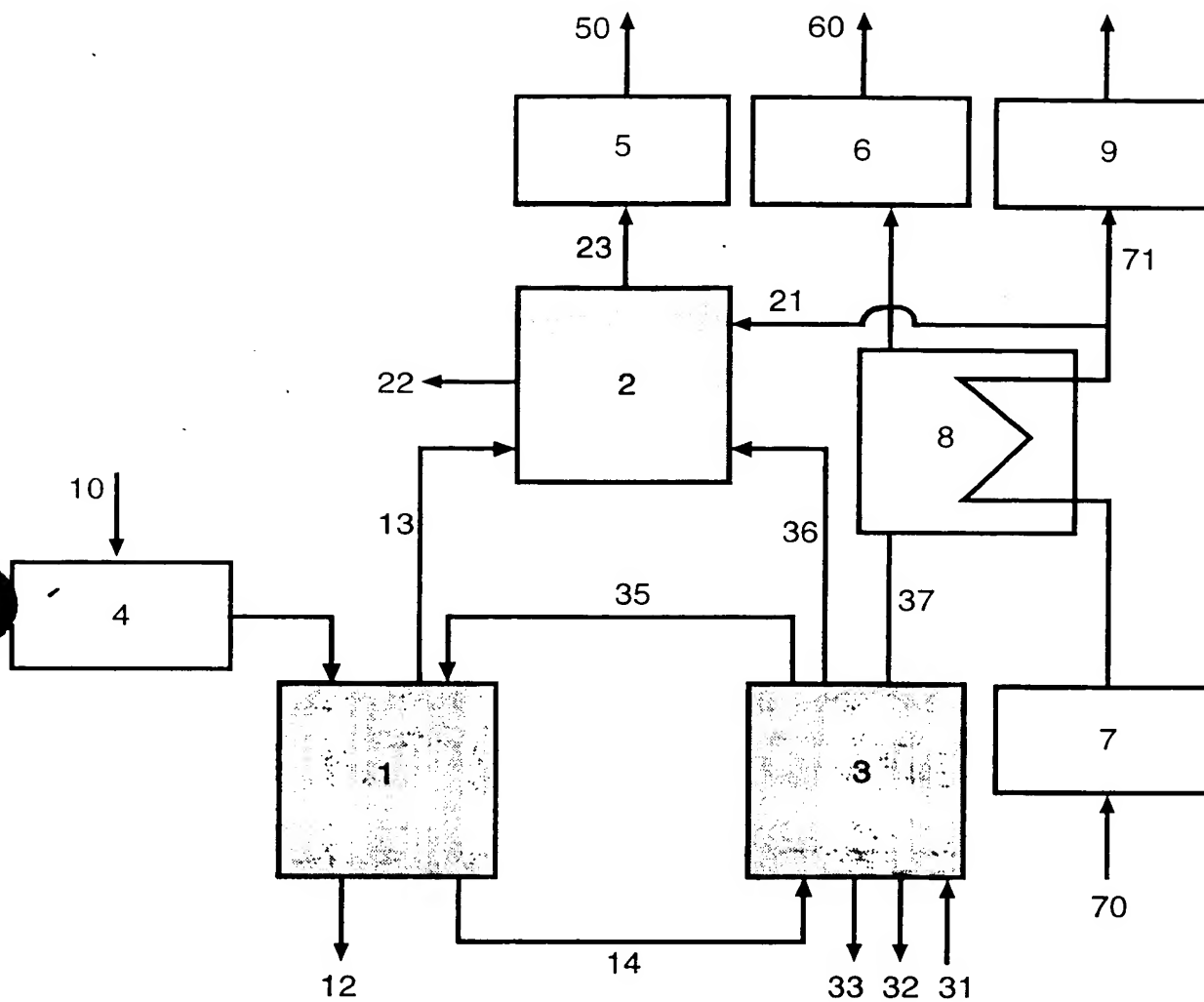


Fig. 2





